

Начальная стадия роста Ge на поверхности Au(111)

А.В. Путилов¹, Д.А. Музыченко², А.И. Орешкин², С.И. Орешкин³, С.С. Уставщиков¹,
А.Ю. Аладышкин¹

¹*Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, 603950, Россия*
alputilov@ipmras.ru

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, 119992, Россия*

³*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, Москва, 119992, Россия*

В данной работе изучен процесс абсорбции германия на поверхности Au(111) и проведен анализ особенностей роста сформированных структур методом СТМ. При напылении на холодную подложку формируется аморфный слой. При напылении на нагретую подложку обнаружены несколько типов кристаллических структур.

Initial Stage of Ge growth on Au(111) surface

A.V. Putilov¹, D.A. Muzychenko², A.I. Oreshkin², S.I. Oreshkin³, S.S. Ustavshikov¹,
A.Yu. Aladyshkin¹

¹*Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod, 603950, Russia*

²*Physics Faculty, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119992, Russia*

³*Sternberg Astronomical Institute, Moscow, 119992, Russia*

We investigate absorption of Ge atoms on Au(111) surface and the formed structures are analyzed via STM. Germanium deposited on a room temperature substrate forms an amorphous layer. In case of deposition on the hot substrate we observe several types of crystalline structures.

Открытие графена и его уникальные физические свойства повлекли за собой бурное исследование и поиск других двумерных кристаллических материалов. В частности, в 2012 году был синтезирован силицен [1], аналог графена на основе кремния. Следующий элемент четвертой группы периодической таблицы – германий – тоже может формировать двумерную кристаллическую структуру толщиной один монослой, названную германен [2]. В данной работе мы исследуем абсорбцию германия и формирование упорядоченной двумерной структуры на поверхности золота Au(111).

В качестве подложки для напыления германия использовалась эпитаксиально выращенная плёнка золота Au(111) на слюде. Очистка поверхности образца производилась до получения на поверхности Au(111) "herringbone" $22 \times \sqrt{3}$ реконструкции. Германий наносился методом электронно-лучевого напыления. Давление в сверхвысоковакуумной камере в процессе напыления Ge на поверхность Au(111) оставалось в пределах диапазона 10^{-10} Торр. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) выполнена вольфрамовыми иглами при температуре 77 К и давлении 1×10^{-10} Торр.

После напыления 0.06 монослоя германия на поверхность Au(111) реконструкция поверхности золота $22 \times \sqrt{3}$ подвергается серьёзному изменению (Рис. 1a), хотя её типичные особенности по-прежнему наблюдаемы. На поверхности появляются новые объекты - тёмные пятна, отсутствовавшие на первоначальной структуре, площадь которых увеличивается с ростом степени покрытия поверхности Ge. Проведённые DFT-вычисления показали, что атом германия на поверхности золота Au(111) должен выглядеть как адатом, а не как тёмное пятно. Появление тёмных областей на СТМ изображении может быть обусловлено замещением поверхностного атома золота атомом германия, вследствие этого замещённые Au атомы группируются на поверхности, образуя дополнительный слой атомов золота.

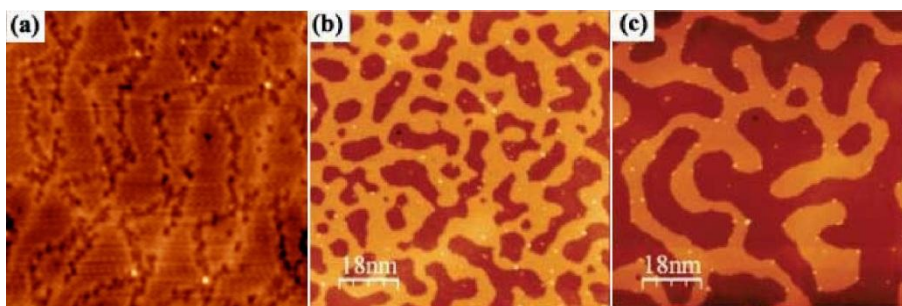


Рисунок 1. СТМ изображения поверхности образца после нанесения (а) 0.06 монослоя Ge, $25 \times 25 \text{ nm}^2$ и (b), (c) 0.8 монослоя Ge, $90 \times 90 \text{ nm}^2$; (a), (b) – топографические изображения непосредственно после нанесения Ge, (c) – после прогрева образца до температуры 150°C .

При дальнейшем нанесении атомов германия они могут замещать атом золота как в первом, так и во втором слоях. Таким образом, наблюдаемая в СТМ экспериментах структура обоих слоёв выглядит одинаково. Рисунок 1 (b) показывает СТМ изображение образца после напыления на поверхность золота 0.8 монослоя германия при комнатной температуре, отчётливо видно существование двух поверхностных слоёв, различающихся на высоту, равной высоте моноатомной ступени золота (Рис 1b,c). При последующем нагреве образца до температуры 150°C (Рис. 1c) внутренняя структура первого и второго слоёв становится более упорядоченной.

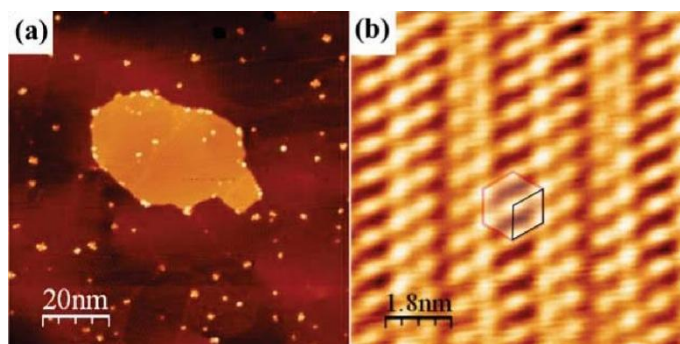


Рисунок 2. СТМ изображение поверхности Au(111) после нанесения одного монослоя Ge с последующим отжигом образца до температуры 150°C .

Рисунок 2(a) показывает поверхность золота Au(111) после нанесения одного монослоя Ge с последующим отжигом образца до температуры 150°C . Высота островка над окружающей поверхностью равна 0.24 nm и соответствует высоте атомной ступени золота в плоскости (111). На рисунке 2(b) приведено СТМ изображение высокого разрешения на поверхности островка. Полученное изображение хорошо соответствует структуре германена $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})\text{-R}19.1^\circ$ по отношению к поверхности золота или $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})\text{-R}30^\circ$ по отношению к германену [2].

Таким образом, синтез германена на поверхности Au(111) является двухступенчатым процессом. При начальном напылении германия на поверхность золота (меньше одного монослоя) происходит зарождение затравочной поверхностной фазы, представляющей собой двухслойную поверхностную структуру, каждый слой которой состоит из неупорядоченной группировки атомов золота и германия, что находится в хорошем согласии с данными фазовой диаграммы системы (Au)-(Ge). Дальнейшее увеличение степени покрытия поверхности Au(111) германием приводит к возникновению на поверхности структуры $(\sqrt{7} \times \sqrt{7})\text{-R}19.1^\circ$.

Работа была поддержана грантом РФФИ №16-02-00818_a.

1. P. Vogt, P. De Padova, C. Quaresima et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 155501 (2012).
2. M.E. Davila, L. Xian, S. Cahagirov et al., *New Journal of Physics* **16**, 095002 (2014).